

PROJEKTBERICHT: PROVI-LK

PROZESSKETTENVIRTUALISIERUNG IN DER PLANUNG ZUR ENTWICKLUNG EINES DURCHGÄNGIGEN LEHR- UND LERNKONZEPTES

PROJEKTLEITUNG

PD Dr.-Ing. habil. A. Nestler

TU Dresden, Professur Formgebende Fertigungsverfahren

Prof. Dr. phil. habil. Martin D. Hartmann

TU Dresden, Professur für Metall- und Maschinentechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Bertram Hentschel

TU Bergakademie Freiberg, Professur für Konstruktions- und Fertigungstechnik

PROJEKTVERANTWORTLICHE

Dipl.-Ing. Martin Erler und Dipl.- Ing. Marius Eßers

Wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur Formgebende Fertigungsverfahren der TU Dresden.

PROJEKTTEAM

Prof. Dr. sc. techn. Detlef Kochan, Dr. Jörg Biber, Hartmut Simmert, Max Barthel, Stephan Gabriel, Sarah Hauerstein, Benjamin Koch, Michael Pütker, Eric Sömisch

AUTOREN DES WERKSTATTBERICHTES

Dipl.-Ing. Martin Erler und Dipl.- Ing. Marius Eßers

1. EINLEITUNG

1.1. Umfeld und übergeordnete Ziele

Die Lehre unterliegt einem ständigen Zwang zum Wandel. Durch die sich fortwährend ändernden Inhalte im Lehrstoff und Anforderungen an die Studierenden müssen auch die Lehr- und Lernkonzepte angepasst werden. Es setzt sich zunehmend die Einsicht durch, dass nicht jede Lehrform für jeden Stoff gleichermaßen gut geeignet ist.

Ein Fach, in dem bisherige Lehrformen nur begrenzt geeignet sind den Stoff zu vermitteln, ist durch ihre computergestützte Vorgehensweise die Fertigungsplanung (NC-Planung). Gesamtziel des Projektes Provi-LK war es, eine für die charakteristischen Inhalte dieses Fachs geeignete Lehr- und Lernplattform zu entwickeln. Dabei sollte der Schwerpunkt vor allem auf der Nutzung digitaler Medien und selbstgesteuertem Lernen liegen. Als zusätzliches Lernangebot ist die Plattform zur Ergänzung für die klassischen Lehrformen an der Hochschule gedacht. Die Umsetzung wurde mit einem modularen, erweiterungsfähigen Charakter und durch Einbezug der Zielgruppe, Studierende der Informatik und der Produktionstechnik, durchgeführt.

Damit war bereits in der Entwicklungsphase eine hohe Lehrpraxisnähe gewährleistet. Vordergründig für die Projektumsetzung war:

- Einbezug der Studierenden in allen Phasen des Projektes
- Nutzung moderner Virtualisierungstechnik
- Einbettung in ein zeitgemäßes Lehr- und Lernkonzept
- Außerordentlich hohe Praxisnähe
- Gewährleistung des ergänzenden Charakters

Provi-LK soll den Studierenden die Komplexität, Tiefe und Bedeutung der Fertigungsplanung näher bringen. Hierzu wurde mit modernen Mitteln der Virtualisierung ein Hilfsmittel für den Einstieg in dieses Fachgebiet entwickelt.

1.2. Motivationssituation

Die im Grundstudium des Maschinenbaus gelehrt Grundlagen der Fertigungstechnik sind im Hauptstudium innerhalb der Vertiefungsrichtung Produktionstechnik zielgerichtet anzuwenden. Es werden Inhalte der Fertigungsplanung vermittelt, die auf der Anwendung des Grundlagenwissens Fertigungstechnik basieren.

Zunehmend wird festgestellt, dass bei vielen Studierenden auf der Ebene des technischen und praktischen Handelns Grundlagen und eigene Erfahrungen fehlen und damit der zu vermittelnden Theorie der praktische Bezug fehlt. Dadurch ergeben sich ein fehlendes Verständnis für die Fertigungsprozesse mit Ihrer Wirkung, mangelhafte Handlungskompetenz bei dem Entwurf und der Auslegung von Prozessen und Prozessketten, sowie der Prozessdurchführung mittels

CNC-Maschinenteknik. Der fehlende Praxisbezug kann auch durch die derzeit angebotenen Praktika im Grund- und Hauptstudium nicht ausreichend kompensiert werden.

1.3. Die Fertigungsplanung

Ein folgerichtiges Planungsvorgehen ist gekennzeichnet durch das stete Springen zwischen den drei Ebenen Fertigungssystem, Fertigungsplanung und Fertigungsprozess (Abbildung 1: Schematische Darstellung Zusammenspiel Planung, System und Prozess). Dabei wird innerhalb der Planung das System ausgewählt, welches den Prozess ausführt. Dieser wird wiederum innerhalb der Planung spezifiziert. System und Prozess sind sehr eng miteinander verknüpft, was in vielen Zwangsbedingungen, die sich gegenseitig beeinflussen und die Planungsmöglichkeiten begrenzen, resultiert. Das auszulegende System besteht aus Werkstück, Werkzeugmaschine, Werkzeug und Spannmittel. Ziel der Planung ist es für jedes dieser Teilsysteme ein (oder mehrere) konkrete Vertreter auszuwählen, die zusammen geeignet sind, den geplanten Prozess auszuführen.

Der Prozess als Abfolge von Arbeitsgängen (AG) seinerseits muss so ausgelegt werden, dass er geeignet ist, ein Fertigteil entsprechend der Vorgaben für das zu fertigende Teil hervorzubringen. Eine vom System getrennte Auslegung des Prozesses ist nicht möglich. Als Arbeitsgang betrachtet man den Teil des Prozesses, der durch eine Maschine, mit einem Werkzeug innerhalb der gleichen Spannung des Werkstückes durchgeführt werden kann. Dieser in der

Fertigungsplanung klar definierte Zeitbereich wird zur Ermittlung der Prozessparameter auf fertigungstechnischer Ebene dem Projekt zu Grunde gelegt. Die Arbeitsganggestaltung (AG-Gestaltung) beruht auf der durch den Planenden durchzuführenden Festlegung aller notwendigen Parameter, mit der das Werkzeug das Werkstück bearbeitet. Jeder Arbeitsgang verändert das Werkstück, sodass es sowohl einen Zustand des Werkstückes vor der Bearbeitung als auch nach der Bearbeitung gibt. Der Werkstückzustand nach der Bearbeitung innerhalb eines Arbeitsganges dient als Ausgang für den darauffolgenden Arbeitsgang.

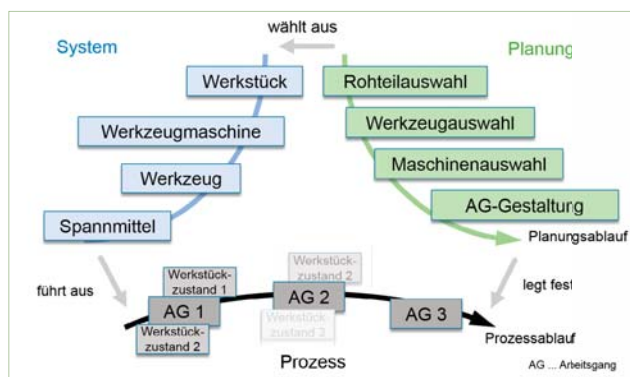


Abbildung 1: Schematische Darstellung Zusammenspiel Planung, System und Prozess

2. DAS KONZEPT

2.1. Didaktisches Konzept

Für eine teilweise Umsetzung des Planungsvorgehens sind innerhalb des Projektes sechs Handlungen von zentralem Interesse gewesen:

- Auswahl geeigneter Fertigungsverfahren und ihrer Parameter
- Auswahl geeigneter Werkzeuge
- Auswahl einer geeigneten Werkzeugmaschine und Festlegung der Prozessschrittfolge
- Konfiguration der Bearbeitungsmaschine und Optimierung der Prozessschrittfolge
- Inbetriebnahme und Kontrolle der festgelegten Prozessschrittfolge
- Auswertung der Ergebnisse des virtuellen Fertigungsprozesses

Das richtige Ausführen einer Handlung bzw. der Planung erfordert Wissen und Erfahrung in Bezug auf Prozess und System. Da zu Beginn beides nicht vorausgesetzt werden kann, wurde ein Stufenkonzept erarbeitet, das sich schrittweise der Thematik unter vereinfachenden Annahmen nähert. Im Gegensatz zur klassischen Aufbereitung von Lehrinhalten ist hier nicht die Umfänglichkeit des Systems begrenzt, sondern die Interaktionsmöglichkeiten mit diesem. So soll der Lernende Folgen und Ursachen seines Handelns stets in aller Fülle erkennen und nachvollziehen können. Um dies zu erreichen, sind die Aufgaben (A) so gestaltet, dass stets ein vollständiges Fertigungssystem virtuell präsent ist (sowohl optisch als auch funktional) und die vorzunehmende Handlung nur einen kleinen

Teil davon betrifft. Die Aufgabenstellung bezieht sich zunächst auf ganz konkrete Sachverhalte mit expliziten Hinweisen zur Durchführung. Ein daran gekoppelter Grundlagenteil (G) vermittelt vorab Wissen, das der Lernende zum Lösen der Aufgabe benötigt. Mit fortschreitendem Lernerfolg werden die Teile größer, womit auch die zu berücksichtigenden Auswirkungen zunehmen. Unterstützt wird der Lernende dabei durch eine statische Informationsquelle zu allen relevanten Themen, die mit seinem Handeln verknüpft sind, genannt „Nachlesen“. Hier wird besonderes Augenmerk auf eine möglichst niedrige Zugangsschwelle zu diesem Wissen gelegt. Auftretende Wissenslücken, die dem Lernenden beim Bearbeiten der Aufgaben auffallen, soll dieser innerhalb einer Umgebung erschließen können. Zum grundsätzlichen Lernen mit Provi-LK motiviert eine Einstiegssequenz (EMO – Einstieg, Motivation, Orientierung), die auch den Umgang mit der Plattform erläutert (Abbildung 2: Bereiche der Lernplattform).



Abbildung 2: Bereiche der Lernplattform

Anschließend und darauf aufbauend folgen die Grundlagenteile und Einstiegsaufgaben 1 bis 3 im Bereich „Lernen“ (Abbildung 3: Stufenkonzept des Lerninhaltes). Abschnitt 1 bezieht sich lediglich auf das Fertigungssystem mit seinen o. g. Bestandteilen. Diese

werden innerhalb eines Videos ausführlich vorgestellt und müssen im Anschluss durch den Benutzer als digitales 3D-Modell identifiziert und nacheinander ausgewählt werden. Die angebotenen Alternativen sind in der Art eingeschränkt, dass es jeweils durch eine optische Überprüfung der Modelle nur eine Lösung gibt. Die vier ausgewählten Teilsysteme werden im Anschluss als virtuelles Fertigungssystem angezeigt. So soll der Übergang von der Realität, repräsentiert durch ein Video, in die Virtualität, verkörpert durch ein 3D-Modell, erleichtert werden.

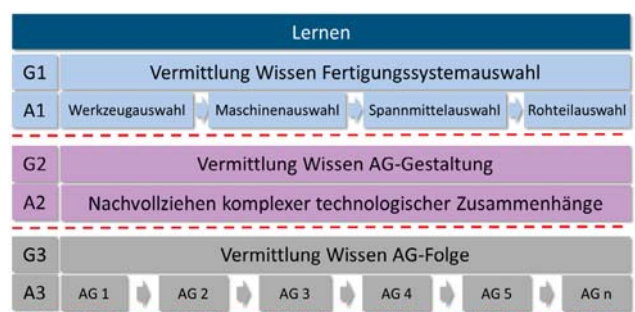


Abbildung 3: Stufenkonzept des Lerninhaltes

Der zweite Abschnitt baut auf das zuvor ausgewählte virtuelle Fertigungssystem auf und befasst sich mit der Fertigungstechnik zum Prozess. Hier sollen Stellgrößen für den Prozess so ermittelt werden, dass eine konkrete Vorgabe erreicht wird. Durch die zu Beginn aus Abschnitt 1 vorliegende Auswahl ist diese Vorgabe nicht zu erreichen. Durch die simple Erhöhung der technologischen Para-

meter Drehzahl und Vorschub ist diese nicht erfüllbar. Erst durch die Variation des gewählten Werkzeuges wird schließlich die Aufgabe lösbar. Daraufhin wird eine Simulation verfügbar, die wiederum das virtuelle Fertigungssystem zeigt und diesmal die aus der Aufgabenstellung stammende Bewegung in Form der Werkstückbearbeitung zeigt. Hier wird das statische System um die Bewegung, die es für die Durchführung eines Prozesses benötigt, erweitert. Dem Benutzer werden dabei die Grundgrößen zur Bewegung vermittelt und auch die komplexen Abhängigkeiten dieser vom Fertigungssystem. Dies geschieht auf mathematischer Basis und entspricht den Grundlagen und auch darauf aufbauendem Vertiefungswissen der Fertigungstechnik. Der Übergang ist dabei fließend und kann zunächst ohne die mathematischen Zusammenhänge erfasst werden. Die Auseinandersetzung mit diesen geschieht bei Interesse des Nutzers.

Abschnitt 3 bezieht sich auf den Prozessablauf. Hier ist zu erkennen, dass für die vollständige Bearbeitung eine zeitliche Abfolge unter der Einhaltung einer bestimmten Reihenfolge notwendig ist.

2.2. Technisches Konzept

Durch die Vorgabe des Einsatzes von digitalen Medien ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften, die die Plattform haben muss.

Grundlegend war das Ziel eine freie Umgebung zu schaffen, die zunächst keinen Beschränkungen, wie es bei existierenden Plattformen der Fall ist, unterliegt. Dies betrifft zum einen die Einstiegshürden, die z.B. durch eine abgeschlossene Benutzergruppe entsteht. Die Plattform soll daher frei für jeden zugänglich sein.

Weiterhin muss uneingeschränkt gewährleistet werden, dass eine hohe Flexibilität der Hard- und Serverleistungsfähigkeit vorliegt. Zu Beginn des Projektes ließ sich eine konkrete Hardwareanforderung nicht abschätzen und wurde somit mit einem Maximum angenommen. Kommerzielle Webhoster schieden damit aus, zumal dort nicht alle softwareseitigen Bedingungen erfüllt werden konnten. Die Notwendigkeit zur Entwicklung einer eigenen Plattform war somit die Folge.

Weiterhin sollte eine modulare Gestaltung gegeben sein, die es ermöglicht bei Bedarf neue Komponenten zu entwickeln und zunächst ohne Einschränkungen zu implementieren. Konkret für die Umsetzung wurden zu Beginn folgende Softwarekomponenten festgelegt:

- JScript (Umsetzung der virtuellen Modelle, Berechnungsabläufe, Webseiten)
- Apache 2.2.22 (Webserver)
- Roxy Fileman (Dateibrowser)
- MySQL 14.14.
- Ubuntu Linux 3.5.0-44

Wichtig für die Darstellung der Plattforminhalte ist eine Festlegung für eine Full HD-Bildschirmauflösung, da einige Inhalte für die Anzeige bislang nicht ohne weiteres skaliert werden können. Die Plattform wurde mit ihren Komponenten so angelegt, dass sie auch auf regulären Webservern, wie sie an Hochschulen oder kommerziell verfügbar sind, benutzbar ist.

3. UMSETZUNG

Die Umsetzung der avisierten Funktionen geschah unter strikter Nutzung direkt web-fähiger Komponenten, die in einem Browser im Standardzustand lauffähig sind. Zusätzliche Plugins, wie sie die meisten im Netz verfügbaren Lösungen mit einem hohen Visualisierungsniveau nutzen, sollte umgangen werden, um eine vollständige Plattformunabhängigkeit zu gewährleisten. Die erforderlichen Komponenten zur Umsetzung des Konzeptes wurden wie folgt besetzt:

3.1. Datenhaltung

Die Datenhaltung erfolgt nahezu vollständig über eine Datenbank. Verwendet wurde der Quasi-Standard MySQL in der Version 14.14. Für jedes Objekt wird ein Link zu der auf dem Server liegenden Datei gespeichert. Textinhalte werden direkt in der Datenbank gespeichert.

Auch die einzelnen Seiten der Plattform liegen in der Datenbank. Sie werden entsprechend der Aufrufe zur Laufzeit generiert und um die benötigten Inhalte angereichert. Damit wurde ein Werkzeug zur vollständig dynamischen Webseitenverwaltung umgesetzt. Dies bietet erhebliche Vorteile bei der Verwaltung und der Verknüpfung der Inhalte. Lediglich die Landingpage liegt direkt auf dem Server. Über sie erfolgt der erste Datenbankaufruf zum Erzeugen der restlichen Seiten.

3.2. Datenverwaltung

Die Daten in der Datenbank werden über zwei Systeme verwaltet – entweder das Content-Management-System (CMS) oder den Datenbankeditor (Abbildung 4).

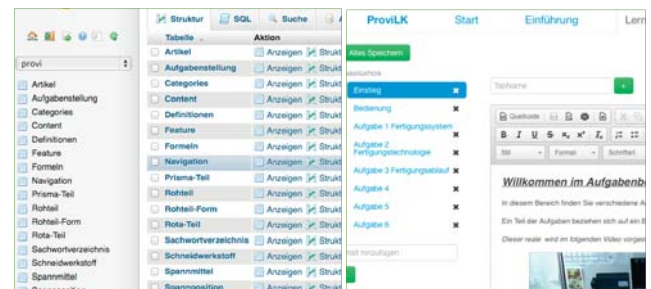


Abbildung 4: Datenbankeditor (l.) und CMS (r.)

Der Datenbankeditor erlaubt Zugriff auf alle Inhalte der Datenbank und steht nur den Systemadministratoren zur Verfügung. Das CMS dagegen bietet einen beschränkten Zugriff auf die medialen Inhalte der Seiten und Unterseiten (Texte, Bilder, Formeln, Videos sowie das Anlegen neuer Seiten). Ein direkter Zugriff auf Datenbankelemente ist nicht möglich. Durch diese Zweiteilung wird die Möglichkeit geschaffen, Wartungs- und Erweiterungsarbeiten von Studenten durchführen zu lassen, ohne volle Zugriffsrechte vergeben zu müssen. Darüber hinaus besteht ein üblicher SFTP-Zugriff, welcher die Verwaltung der Gesamtstruktur des Servers ermöglicht.

3.3 Visualisierung 3D-Inhalte

Aus Gründen der Laufzeit war eine clientseitige Berechnung der 3D-Inhalte erforderlich, da aktuelle Server um mehrere Größenordnungen zu wenig Rechenleistung besitzen, um derart datenintensive Berechnungen für mehrere Clients gleichzeitig durchzuführen zu können. Die Entscheidung fiel somit auf eine vollständige clientseitige Berechnung der Anzeigeinformationen. Die einzige Möglichkeit dies unter der Prämisse direkter Webfähigkeit zu bewerkstelligen war die Darstellung der interaktiven 3D-Inhalte komplett über WebGL. Dieser relativ neue Quasi-Standard wird von allen gängigen Browser unterstützt. Er bietet ein 3D-Grafik-Programmierschnittstelle für Webbrowser. Auf diesem aufbauend wurden mittlerweile verschiedene Grafikengines entwickelt. Bereitgestellt und programmiert werden alle über JavaScript, welches jeder Browser nativ interpretieren kann.

3.4. Kinematik

Technisches Kernelement zur Erstellung und Bereitstellung der Maschinenkinematik ist die VMTE (Virtual Machine Tool Environment) (Erler & Eßers 2012). Diese stellt steuerbare vorkonfigurierte Maschinenmodelle bereit (Abbildung 5).

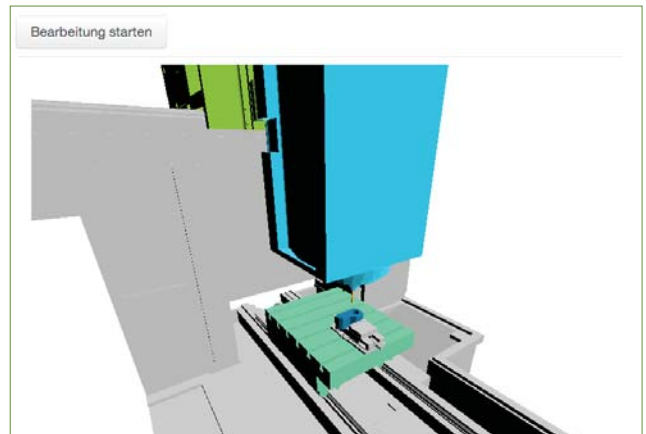


Abbildung 5: VMTE mit Modell einer Mikromat 4V

Die Maschinenmodelle werden vorab mit den folgenden Bestandteilen erzeugt:

- einer Beschreibung des kinematischen Maschinenaufbaus,
- den 3D-Dateien
- sowie allgemeinen Daten zur Maschine.

Die Aufbaubeschreibung erfolgt über eine Konfigurationsdatei. Sie enthält Angaben zu den Achsen der Maschinen, die deren Verhalten steuern und verknüpft diese mit den 3D-Dateien, die zur Darstellung benötigt werden. Die allgemeinen Daten zur Maschine umfassen bspw. die Bezeichnung oder das Gewicht.

Die VMTE erledigt zudem die Berechnung der Achspositionen entsprechend der Vorgaben aus dem Bearbeitungsprogramm.

Mit der webbasierten VMTE steht dem interessierten Nutzer ein umfangreiches Werkzeug zur Verfügung, um seine Fertigungsplanung virtuell auszuprobieren und untersuchen zu können (Eßers et al. 2013).



3.5. Parameterlogik

Zum „spielerischen“, intuitiven Erlernen komplexer Zusammenhänge der fertigungstechnischen Inhalte wurde eine Parameterlogik entwickelt und umgesetzt. Sie bildet objektbasiert die mathematischen Verknüpfungen der technischen Größen der Teilsysteme ab. Diese lassen sich manipulieren (z.B. mittels Schieberegler) und die Logik stellt die verfügbaren Ergebnisse bereit (Abbildung 6).

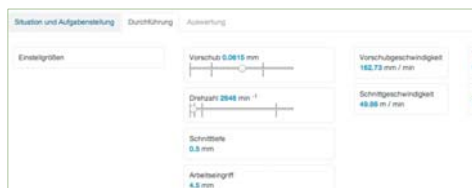


Abbildung 6: Parameterlogik in Aufgabe 2

Jede technische Größe lässt sich als Zielgröße oder Einstellwert definieren, sodass jedes beliebige Szenario modelliert werden kann.

VERSTETIGUNG / VERVIELFÄLTIGUNG

Nach Beendigung dieses Projekts im Rahmen „Lehrpraxis im Transfer“ wird die weitere Betreuung der Plattform über studentische Hilfskräfte, die aus Haushalts- und eventuell noch einzuwerbenden Drittmitteln der Arbeitsgruppe finanziert werden, unter fachlicher Anleitung des Antragstellers sichergestellt. Die Lehrveranstaltungen Fertigungstechnik I und II sowie Fertigungsplanung I und II / Teilefertigung sind auch Bestandteil der modularisierten Ausbildung innerhalb der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Die weitere Nutzung des Kurses ist damit gegeben.

Weiterhin folgen im Anschluss zum Projekt und dessen Inhalte weitere Veröffentlichungen. Die Plattform wird zudem aktiv in entsprechenden Fachkreisen bekanntgemacht. Weiterführende Arbeiten werden durch die Zusammenarbeit innerhalb des Zentrums virtueller Maschinenbau unterstützt.

LITERATUR

Erler, Martin & Eßers, Marius (2012): Approach for generation of complete virtual machine tools based on a unified model description In: Annals & Proceedings of DAAAM International 23, Nr. 1, S. 779-782.

Eßers, Marius, Erler, Martin, Nestler, Andreas & Brosius, Alexander (2013): Methodological Issues in Support of Selected Tasks of the Virtual Manufacturing Planning. In: Kovács, George L. & Kochan, Detlef (Hg.): NEW PROLAMAT (Vol. 411 von IFIP Advances in Information and Communication Technology). Berlin/Heidelberg: Springer, S. 401-412.